

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

376  
333

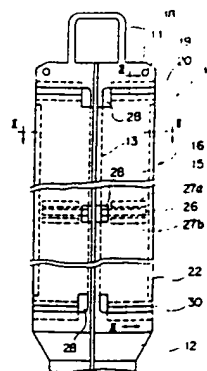
89-211033/29 K05 X14 NIGJ 07.12.87  
NIPPON GENSHIRYOKU JIGYO (TOKE) \*JO 1148-998-A  
07.12.87-JP-308955 (12.06.89) G21c-07/10  
Control rod for boiling water reactor - has wing sheath formed by  
long life type neutron absorbent contg. hafnium  
C89-093841

Full Patentees: Nippon Genshiryoku Jigyo; Toshiba KK.

In control rod for reactor for controlling reactor output of boiling water type reactor, sheath of wing is formed by long life type neutron absorbent formed by alloy consisting mainly of hafnium. Region on the terminal end side adjoining to insertion tip region of the wing is formed such that a total amount of neutron absorbent is gradually decreased longitudinally toward the insertion terminal side.

ADVANTAGE - Arrangement increases life for sheath in U-shape in cross-section by using long life type neutron absorbent. (8pp Dwg.No.1/10)

K(5-B6A)



第 1 図

© 1989 DERWENT PUBLICATIONS LTD.  
128, Theobalds Road, London WC1X 8RP, England  
US Office: Derwent Inc., 1313 Dolley Madison Boulevard,  
Suite 303, McLean, VA22101, USA  
Unauthorised copying of this abstract not permitted.

*translated*

## ⑫ 公開特許公報(A) 平1-148998

⑪ Int.Cl.

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成1年(1989)6月12日

G 21 C 7/10

GDB

H-8204-2G

審査請求 未請求 発明の数 1 (全8頁)

⑭ 発明の名称 原子炉用制御棒

⑮ 特 願 昭62-308955

⑯ 出 願 昭62(1987)12月7日

⑰ 発明者 植 田 精 神奈川県川崎市川崎区浮島町4番1号 日本原子力事業株式会社研究所内  
 ⑱ 発明者 吉 岡 律 夫 東京都港区芝浦1丁目1番1号 株式会社東芝本社事務所内  
 ⑲ 出 願 人 日本原子力事業株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番7号  
 ⑳ 出 願 人 株式会社東芝 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地  
 ㉑ 代理人 弁理士 波多野 久 外1名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

原子炉用制御棒

## 2. 特許請求の範囲

1. 先端構造材と末端構造材とをタイロッドで結合し、上記タイロッド、先端構造材および末端構造材にU字状のシースを固定して複数のウィングを構成した原子炉用制御棒において、前記ウィングのシースをハフニウム金属あるいはハフニウムを主成分とする合金からなる長寿命型中性子吸収材で形成するとともに、前記ウィングの挿入先端領域に隣接する挿入末端側の領域は、その長手方向に中性子吸収材の総量が挿入末端側に向って漸次減少するように構成したことを特徴とする原子炉用制御棒。

2. U字状シースの内側にハフニウム金属またはハフニウムを主成分とする合金からなるプレート状の中性子吸収材を固定し、ウィングの挿入先

端領域に隣接する挿入末端側の領域は、ウィング肉厚方向の中性子吸収材の実質的肉厚が挿入末端側に向って段階的または連続的に減少された特許請求の範囲第1項に記載の原子炉用制御棒。

3. ウィングの挿入先端領域はウィングの挿入先端から挿入末端側に向って5〜32cmの長さである特許請求の範囲第1項に記載の原子炉用制御棒。

4. U字状シースの内側にハフニウム金属またはハフニウムを主成分とする合金からなる中性子吸収材を配置し、この中性子吸収材は平板状、波板状、円形、長円形または矩形断面に成形されるとともに、ウィング肉厚方向の中性子吸収材の実質的肉厚が、挿入先端領域を除いて挿入先端側から挿入末端側に向って段階的または連続的に減少された特許請求の範囲第1項に記載の原子炉用制御棒。

5. 中性子吸収材はハフニウム金属またはハフニウムを主成分とする長寿命型中性子吸収材と、波覆材を用いた波覆型中性子吸収材とからなり、

被覆型中性子吸収材はU字状シース内に配置された特許請求の範囲第1項に記載の原子炉用制御棒。

6. 被覆型中性子吸収材の被覆材はハフニウム金属またはハフニウムを主成分とする合金で構成された特許請求の範囲第1項に記載の原子炉用制御棒。

### 3. 発明の詳細な説明

#### (発明の目的)

##### (産業上の利用分野)

本発明は、沸騰水型原子炉等の軽水炉の炉出力を制御する原子炉用制御棒に係り、特に制御棒の反応度価値を高めて原子炉停止余裕を向上させ、長寿命化を図った高反応度長寿命型の原子炉用制御棒に関する。

##### (従来の技術)

従来の沸騰水型原子炉用制御棒は、中央タイロッドに細長いU字状シースを固着して横断面十字状のウィングを形成し、各ウィング内に多数の中性子吸収棒を被覆して構成される。中性子吸収

棒は例えばステンレス鋼製被覆管内に中性子吸収材としてボロンカーバイド(B<sub>4</sub>C)粉末を充填して調製される。

この原子炉用制御棒を沸騰水型原子炉等の炉心に挿入すると、シース内に充填した中性子吸収材は中性子の照射を受け、中性子吸収能力を次第に失うため、原子炉用制御棒は寿命に達し、所定期間の運転に供した後に定期的に交換される。

##### (発明が解決しようとする問題点)

原子炉の炉心部に出し入れされる制御棒は、各ウィングの全面に亘って一様に中性子照射を受けるものではなく、例えば各ウィングの挿入先端領域および外側縁領域は、強度の中性子照射を受ける。そのため、その領域に充填された中性子吸収材は多量の中性子を吸収してウィングの他領域より早く消耗し、早期に核的寿命を終える。したがって、ウィングの他領域に充填された中性子吸収材がまだ十分核的寿命を残しているにも拘らず、原子炉用制御棒全体を放射性廃棄物として廃棄しなければならない不経済性があった。一方、原子

炉制御棒の交換頻度が高いと交換作業を行なう作業員の被曝線量も増大する問題点も考えられる。

そのような問題を解決するために強度の中性子照射を受ける制御棒の領域に核的寿命が長い、例えばハフニウムのような長寿命型中性子吸収材を部分的に配置した原子炉用制御棒を本発明者は開発した。この原子炉用制御棒は、特開昭53-74697号公報に開示されている通り、強い中性子照射を受けるウィングの先端部および外側端部に長寿命型吸収材を配置したハイブリッド構造を有する。このハイブリッド型の原子炉用制御棒は通常型制御棒の2倍程度の寿命を得るに至った。

一方、従来の原子炉用制御棒は、ウィングの全領域に亘って中性子吸収材を均一な密度で充填しており、軸方向の各領域における中性子吸収能力すなわち反応度が等しく調製されているが、中性子照射量の不均一によって経時的に反応度にばらつきを生じ、原子炉の運転サイクル末期においては部分的に原子炉停止余裕が低下する可能性がある。

すなわち、上記の原子炉用制御棒を使用して原子炉を所定期間運転した場合における原子炉停止余裕(未臨界度)の炉心軸方向分布は、燃料集合体の設計仕様または原子炉の運転方法によって若干の相違を生じるが、基本的には第4図(A)に示す分布となる。すなわち、原子炉停止余裕は炉心の上端および下端において大きくなる一方、上端より若干下った位置において最小の値をとる。

この原因としては、次のことが考えられる。

原子炉炉心の軸方向有効長さをとした場合、下端から3/4の位置から上端にかけての上端領域においては、運転時の気泡率(ボイド率)が高く、炉の出力密度が相対的に低下するため、核分裂性物質である質量数235のウラン(U-235)の残存量が比較的多い。また発生する気泡(ボイド)によって中性子スペクトルの硬化現象を生じる。その結果、プルトニウム生成反応(中性子吸収反応)が促進されるため、原子炉の運転後において炉心上部の核分裂性物質の濃度が高くなり、その領域の原子炉停止余裕が低下する原因

となっている。

一方、今後の原子炉は運転経済性の向上に対する要請から核燃料の高燃焼度化および運転サイクルの長期化への移行は必至の情勢である。その具体的な対応として燃焼度の高い核燃料の採用が進み、それに伴って寿命が長く、かつ原子炉停止余裕が大きな原子炉用制御棒が強く求められる。

ところが、従来の原子炉用制御棒を高燃焼度の核燃料を装荷した原子炉に採用すると原子炉停止余裕が相対的に低下し、短い運転サイクル毎に原子炉用制御棒を頻りに交換しなければならない。

原子炉用制御棒の交換作業時には、原子炉を停止し、さらに交換すべき制御棒の周囲に配設された多数の燃料集合体を炉心から予め排除する煩雑な作業が必要とされる。したがって、制御棒の交換のための原子炉停止が頻発し、また停止期間が長期化することにより原子炉の運転効率、経済性が著しく低下する一方、管理労力が著しく増大する可能性がある。

本発明は上述した事情を考慮してなされたもの

#### (作用)

この原子炉用制御棒は、ウイングを構成するU字状シースをハフニウム金属あるいはハフニウムを主成分とする合金からなる長寿命型中性子吸収材で形成したので核的寿命が長く、長寿命化を図ることができる一方、長寿命型中性子吸収材をシースとして使用するため、シース内部に減速材である水が導入され、この水によって中性子が減速され、吸収され易いエネルギーの中性子となるため、中性子吸収効果、すなわち制御棒の反応度効果が増大する。

さらに、原子炉用制御棒の全挿入時に原子炉炉心の横方向の末端界度が浅くなる中性子吸収材を積極的かつ効果的に配置するので、一段と大きな反応度価値が得られ、原子炉停止余裕が増大する。

#### (実施例)

以下、本発明に係る原子炉用制御棒の一実施例について添付図面を参照して説明する。

沸騰水型原子炉等の軽水炉の炉出力制御を行なう原子炉用制御棒は、第1図ないし第3図に示す

で、U字状のシースに長寿命型中性子吸収材を用いて核的寿命の長期化を図り、反応度効果の高い部位に中性子吸収材を多く配置して制御棒の反応度価値を高めて原子炉停止余裕を増大させた高反応度長寿命型の原子炉用制御棒を提供することを目的とする。

#### (発明の構成)

##### (問題点を解決するための手段)

本発明に係る原子炉用制御棒は、上述した目的を達成するために、先端構造材と末端構造材とをタイロッドで結合し、上記タイロッド、先端構造材および末端構造材にU字状のシースを固定して複数のウイングを構成した原子炉用制御棒において、前記ウイングのシースをハフニウム金属あるいはハフニウムを主成分とする合金からなる長寿命型中性子吸収材で形成するとともに、前記ウイングの挿入先端領域に隣接する挿入末端側の領域は、その長手方向に中性子吸収材の総量が挿入末端側に向って漸次減少するように構成したものである。

ように構成される。原子炉用制御棒10は先端構造材11と末端構造材12とが横断面十字状をなすステンレス鋼製の中央タイロッド13で結合され、このタイロッド13の各突出部に横断面が深いU字状のシース15が固定されて複数のウイング16が構成される。シース15はハフニウム金属あるいはハフニウムを主成分とする合金からなる長寿命型中性子吸収材で形成される。ウイング16の挿入先端および挿入末端側は、シース15が先端構造材11および末端構造材12に固定される。先端構造材11には操作ハンドル18が設けられるとともに、原子炉の炉心部に出し入れされる制御棒10を案内するガイドローラ19が設けられる。

一方、ウイング16は挿入先端側の挿入先端領域とこの挿入先端領域に隣接し、挿入末端側に延びる領域とに区画され、ウイング16の挿入先端領域は挿入先端から挿入末端側に例えば5〜32cm程度、通常は15〜16cm延びて終端する長さを有する。この挿入先端領域は原子炉の炉停止余

格への寄与が小さく、高反応度にする必要はないが、炉心部から強い中性子照射を受けるので、この部分はウィング16の肉厚方向に、全厚さ分中実あるいは実質的に中実なハフニウム板等の長寿命型中性子吸収板20が設けられる。この長寿命型中性子吸収板20はウィング幅方向に延びる突出部20aが先端構造材11の凹溝21に係合して固定される。

また、ウィング16の挿入先端領域に隣接する挿入末端側の領域には、ウィング16外側縁部が強い中性子照射を受け、この部分にはハフニウム金属またはハフニウムを主成分とする長寿命型中性子吸収材としてのハフニウム材22が第2図に示すように設けられる。このハフニウム材13はウィング16の外側縁部を構成し、シース15の外側端部を形成している。

他方、シース15と中央タイロッド13とは異種金属で形成され、直接溶接することができないので、第1図に示すようにハフニウム金属やハフニウムを主成分とするL字状断面の4枚のハフニ

ウム薄板15a、15b、15c、15dを、それらの隅角部を十字状断面の中央タイロッド13の凹角部に対向して配設し、上記各ハフニウム薄板15a~15dの対向する先端部に、ハフニウム材22が挿入され、溶接にて固着される。ハフニウム材22を固定させることにより、横断面が深いU字状をなすシース15が各ウィング16毎に構成される。

シース15の中央タイロッド13側には矩形断面を有するハフニウム棒24がウィング16の長手方向に介装され、シース15に溶着等で固定される。このハフニウム棒24はシース15のウィング幅方向内側の間隔を保持し、その機械的強度を保証している。ウィング16のシース15間は減速材としての水を案内する流路25が形成される。

また、原子炉用制御棒10のウィング長手方向中間部には、シース15内にウィング幅方向に延びるステンレス鋼製の補強棒26が、第1図に示すように、上下のハフニウム棒27a、27b間

に介装される。上記補強棒26は中央タイロッド13の突出部に溶接にて固定され、ウィング16の中間部の変形を抑制している。ウィング16の上下端部およびその中間部には通水用開口28や孔(図示せず)が形成される。

さらに、ウィング16の挿入先端領域はその挿入先端領域と同様なハフニウム板30が末端構造材12のウィング幅方向に延びる凹溝31に挿入されて固定される。

ところで、ウィング16の挿入先端領域に隣接する区域には、シース15の両内側にハフニウム金属あるいはハフニウムを主成分とする合金からなるハフニウム板33が第3図に示すように内張りされる。このハフニウム板33はウィング16の挿入先端領域から挿入末端側に向かって延び、その途中で終端している。

シース15の内側にハフニウム板33を内張りすることにより、ウィング16は挿入先端領域に隣接する挿入末端側の領域で、長寿命型中性子吸収材の値を挿入末端側に向かって段階的(連続的

もよい。)に漸次減少させることができ、未臨界度が浅くなり易い部分、ひいては反応度効果の高い部位により多くの中性子吸収材を配置することができる。このため、原子炉用制御棒の反応度価値を高めて原子炉停止余裕を増大させ、高反応度と長寿命化を同時に達成することができる。

次に、原子炉用制御棒の製造手順の一例を説明する。

L字形ハフニウム薄板15a~15dの所要個所にハフニウム板33を内張りするとともに、4枚のハフニウム薄板15a~15dの隅角部が突き合さるように配設し、各ハフニウム薄板15a~15dにより形成される間隔内にウィング長手方向に矩形のハフニウム棒24を介装して固定させるとともに、ウィング16の幅方向に上下に対をなすハフニウム棒27a、27bを挿入して固定し、上記ハフニウム棒27a、27b間に補強棒26を挿入する。続いて、4枚のハフニウム薄板15a~15dの外側縁部にハフニウム材22をウィング長手方向に挿入し、固定させ、横断面

18998(4)

15dを、そ  
イロッド13  
ハフニウム薄  
に、ハフニウ  
される。ハフ  
り、横断面が  
ウィング16毎

側には矩形断  
ウィング16の長  
さ等で固定さ  
ス15のウィ  
の機械的強度  
ス15間は  
5が形成され

ウィング長手方向  
グ幅方向に延  
、第1図に示  
a、27b間

でき、末端界  
反応効果の高  
を配置すること  
制御棒の反応度面  
させ、高反応度  
ができる。

例の一例を説明

15dの所要箇  
るとともに、4  
dの隅角部が突  
ウム薄板15a  
にウィング長手  
介装して固定さ  
方向に上下に対  
bを挿入して固  
27b間に補強  
のハフニウム薄  
フニウム材22  
定させ、横断面

十字状に形成する。これにより、深いU字状をな  
すシース15が長寿命型中性子吸収材で形成され  
る。

一方、末端構造材12に中央タイロッド13を  
溶接等にて結合させ、この末端構造材12の各凹  
溝31内にハフニウム板30を挿入させる一方、  
中央タイロッド13を横断面十字状に組み立てら  
れたハフニウム薄板15~15d内に挿通させ、  
ハフニウム薄板15a~15dの下端部をハフニ  
ウム板30に固着させる。

次に、ハフニウム薄板15a~15dの上端部  
にハフニウム板20を固着し、各ハフニウム板2  
0を先端構造材11の凹溝21内に案内させると  
ともに、先端構造材11を中央タイロッド13に  
溶接にて固着する。

最後に、ウィング16の長手方向中間部に介装  
された1個以上の補強棒26を中央タイロッド1  
3の突出部に溶接にて固定してウィング16の機  
械的強度を向上させ、ウィング中間部の変形を防  
止している。このようにして、原子炉用制御棒1

0が組み立てられる。

この原子炉用制御棒10は、ウィング16を構  
成するU字状シース15が長寿命型中性子吸収材  
で形成されるので、核的寿命が長く、制御棒10  
の長寿命化を図ることができるとともに、上記制  
御棒10はウィング16の挿入先端領域に隣接す  
る挿入末端側の領域は、内部に減速材である水を  
案内する流路25が形成されるので、この流路2  
5内を案内される水によって中性子が減速され、  
中性子吸収材に吸収され易いエネルギーの中性子と  
なるため、中性子吸収効果、ひいては制御棒の反  
応度効果が増大する。

また、ウィング16の挿入先端領域に隣接する  
挿入末端側の区域に、ハフニウム板33をシース  
15の内側に内張りしたので、原子炉用制御棒1  
0の全挿入時に炉心軸方向の末端界面が浅くなる  
部位に、中性子吸収材を積極的に配置したので、  
一段と大きな反応度価値(中性子吸収特性)が第  
4図(B)で示すように得られ、第4図(C)に  
示すように、破線で示す従来の制御棒に較べ原子

炉停止余裕が増大する。

次に、本発明に係る原子炉用制御棒の他の実施  
例について説明する。

第5図はこの原子炉用制御棒の第2実施例を示  
すものである。この実施例に示された原子炉用制  
御棒10Aは、ウィング16の挿入先端領域に隣接  
する挿入末端側の領域のシース15内に多段構  
造のハフニウム板35を内張りしたものである。  
このハフニウム板35はハフニウム金属あるいは  
ハフニウムを主成分とした合金の長寿命型中性子  
吸収材で形成され、ウィング16の挿入先端側か  
ら挿入末端側に向かって途中で肉厚が段階的に減少  
するように構成される。このハフニウム板35は  
シース15の内側にスペーサ36を介して固定さ  
れる。他の構成は第1図ないし第3図に示される  
原子炉用制御棒10と実質的に等しいので説明を  
省略する。

第6図および第7図は原子炉用制御棒の第3実  
施例を示すものであり、この実施例に示された制  
御棒10Aはウィング16の挿入先端領域に隣接

する挿入末端側の領域のシース15内中央部に多  
段構造、例えば2段構造のハフニウム板38を配  
置し、このハフニウム板38をシース15とワッ  
シャ状スペーサ39により間隔保持し、固定ピン  
等の固定部材40で保持したものである。

また、原子炉用制御棒10Cは、第8図に示す  
ようにハフニウム板43として波板状プレートを  
シース15内に配置し、このシース15にスペー  
サ44により固定しても、さらに第9図に示すよ  
うに、ウィング16のシース15内にハフニウム  
金属あるいはハフニウムを主成分とする合金から  
なる短尺のハフニウム管45をウィング幅方向に  
列状に配列してもよい。この場合、ハフニウム管  
45内に減速材としての水が案内されるとともに、  
ハフニウム管45は上側および下側で支持部材  
(図示せず)を介してシース15に固定される。  
このハフニウム管45はウィング16の挿入先端  
側に原子炉用制御棒10Dの有効長の1/3~1  
/4の長さ(ウィングの長手方向長さ)に亘って  
挿入される。ハフニウム管45は楕円形や長円形

断面を有するように形成してもよい。

いずれの場合にも、第1図ないし第3図に示される原子炉用制御棒10と同等の作用効果を奏する。

また、原子炉用制御棒10Eは、ウィング16の挿入先端領域に隣接する挿入末端側の領域を、第10図および第11図に示すように構成し、シース15内に中性子吸収棒47を配置し、下部を支持部材48で支持してもよい。支持部材48はハフニウム金属やハフニウムを主成分とする合金の中性子吸収材で形成され、シース15間の間隔を保持し、ウィング16の機械的強度を高めている。

一方、中性子吸収棒47はハフニウム金属あるいはハフニウムを主成分とする合金の被覆管49内に天然ボロン( $B_4C$ )やボロン-10を溶解したボロンカーバイド、 $Eu_2O_3-HfO_2$ 等の中性子吸収物質50が充填される。中性子吸収物質50がボロンカーバイドである場合には、中性子反応によりHeガスを発生させるので、金属

性子吸収材の総量がウィングの挿入先端領域から挿入末端側に向かって段階的に漸次減少する例を示したが、例えばハフニウム板の肉厚が連続的に変化するように形成し、このハフニウム板をシース内に配置し、中性子吸収材の総量がウィングの挿入先端領域から挿入末端側に向かって連続的に変化するようにしてもよい。

#### (発明の効果)

以上に述べたように本発明に係る原子炉用制御棒においては、ウィングのシースをハフニウム金属あるいはハフニウムを主成分とする合金からなる長寿命型中性子吸収材で形成したから、制御棒の核的寿命を延ばし、長寿命化を図ることができる。

また、長寿命型中性子吸収材をシースとして用いるため、シース内部に減速材である水を導入でき、導入された水により、高速中性子は減速され、吸収され易いエネルギーの中性子となるため、中性子吸収効果、すなわち制御棒の反応度効果を増大させることができる一方、反応度効果が低い部位

ウール等を充填してガスブレンラム51を形成する必要がある。

さらに中性子吸収棒52の被覆管53を第12図に示すように、矩形断面とし、内部に充填される中性子吸収物質50の量を増大させてもよい。

第10図ないし第12図に示される原子炉用制御棒の場合にも、第1図ないし第3図に示される原子炉用制御棒と同様な作用効果を奏する。

なお、本発明の一実施例ではし字形ハフニウム薄板の隅角部を中央タイロッドの凹角部に係合させ、対向するハフニウム薄板の先端縁部にハフニウム材を挿入・固着して深いU字状シースを形成した例を示したが、このシースはハフニウム金属あるいはハフニウムを主成分とした合金の長寿命型中性子吸収材から結果としてU字状に構成したものであればよく、シースを構成する前の素材の形状は問わない。

また、一実施例では、ウィングの挿入先端領域に隣接する挿入末端側の領域において、シースの内側にハフニウム板や中性子吸収棒を配置し、中

に中性子吸収材を積極的に配置したので、一段と大きな反応度値が得られ、原子炉停止余裕が増大し、高反応度で長寿命型原子炉用制御棒を提供できる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明に係る原子炉用制御棒の一実施例を示す図、第2図は第1図のII-II線に沿う平面断面図、第3図は第1図のIII-III線に沿う縦断面図、第4図(A)は従来の原子炉用制御棒を使用して原子炉を所定期間運転した場合の原子炉停止余裕の軸方向分布を示すグラフ、第4図(B)は本発明に係る原子炉用制御棒における中性子吸収特性の軸方向分布を示すグラフ、第4図(C)は本発明に係る原子炉用制御棒を使用して原子炉を所定期間運転した場合の原子炉停止余裕の軸方向分布を従来例と比較して示すグラフ、第5図および第6図は本発明に係る原子炉用制御棒の第2実施例および第3実施例をそれぞれ示す図、第7図は第6図を部分的に拡大して示す図、第8図およ

び第  
変形  
用制  
11  
分的  
炉用  
  
1...  
タイ  
フニ  
フニ  
ウム  
7...  
ウム  
-サ  
5...  
被覆



998 (6)

を形成する

3を第12

に充填され

てもよい。

原子炉用切

に示される

する。

ハフニウム

部に係合さ

部にハフニ

ースを形成

ニウム金属

金の長寿命

に構成した

5前の素材の

導入先端領域

に、シースの

を配置し、中

ので、一段と

停止余裕が増

制御棒を提供

制御棒の一実施

II線に沿う平

に沿う縦断面

制御棒を使用

の原子炉停止

4図(B)は

る中性子吸収

4図(C)は

用して原子炉を

止余裕の軸方向

7、第5図およ

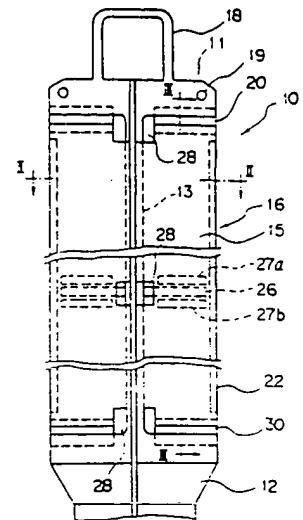
4図の第2実

示す図、第7図

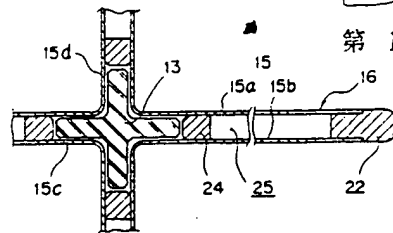
図、第8図およ

び第9図は第7図に示される原子炉用制御棒の各変形例を示す図、第10図は本発明に係る原子炉用制御棒のさらに他の実施例を示す縦断面図、第11図は第10図に示された原子炉用制御棒の部分的拡大図、第12図は第11図に示された原子炉用制御棒の変形例を示す図である。

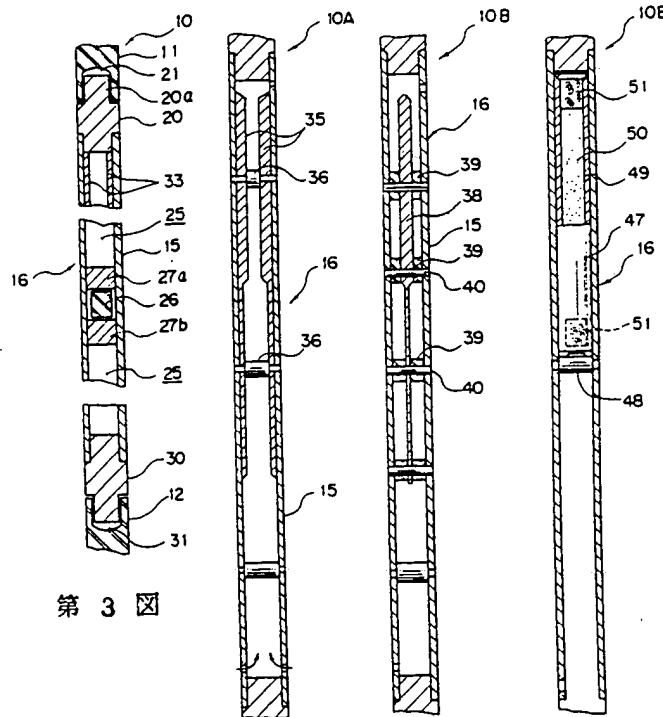
10、10A~10E…原子炉用制御棒、11…先端構造材、12…末端構造材、13…中央タイロッド、15…シース、15a~15d…ハフニウム薄板、16…ウィング、20、30…ハフニウム板、22…ハフニウム材、24…ハフニウム棒、25…流路、26…補強棒、27a、27b…ハフニウム棒、33、35、38…ハフニウム板、36…スペーサ、39…ワッシャ状スペーサ、40…固定部材、43…ハフニウム板、45…ハフニウム管、47…中性子吸収棒、49…被覆管、50…中性子吸収物質。



第1図

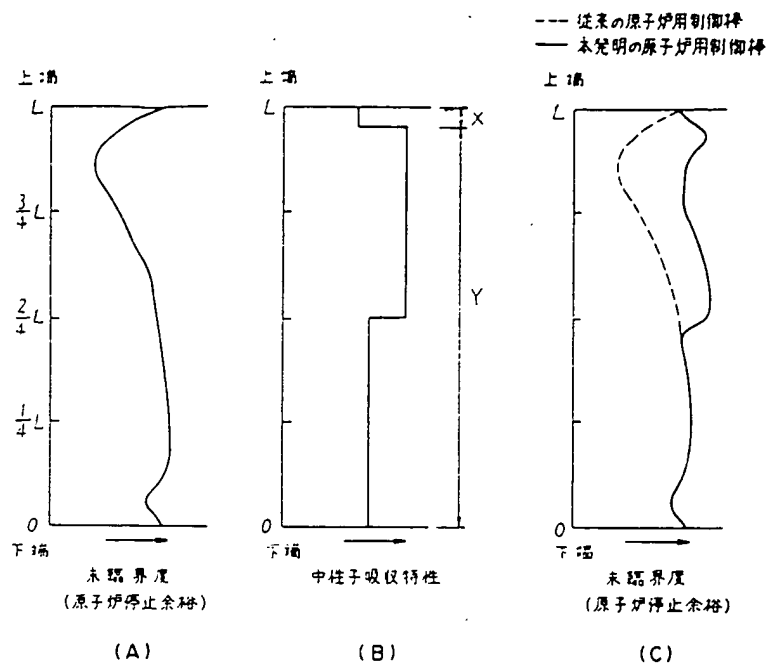


第2図

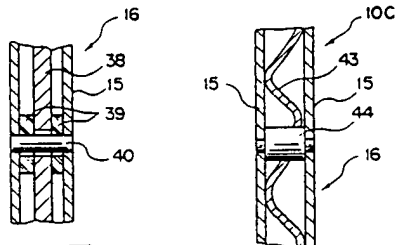


第3図

第5図 第6図 第10図

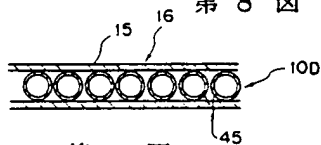


第 4 図



第 7 図

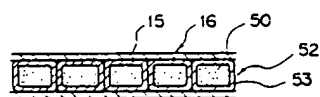
第 8 図



第 9 図



第 11 図



第 12 図

PTO 96-5744 ✓

Japanese Patent Application  
No. Sho 62[1987]-308955

CONTROL ROD FOR NUCLEAR REACTOR

Tadashi Ueda Norio Yoshioka

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE  
WASHINGTON, D.C.                      SEPTEMBER 1996  
TRANSLATED BY THE RALPH MCELROY TRANSLATION COMPANY

Code: PTO 96-5744

## JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT JOURNAL

KOKAI PATENT APPLICATION NO. HEI 1[1989]-148998

Int. Cl. <sup>4</sup> :	G 21 C 7/10
Sequence Nos. for Office Use:	H-820 4-2G
Application No.:	Sho 62[1987]-308955
Application Date:	December 7, 1987
Publication Date:	June 12, 1989
No. of Inventions:	1 (Total of 8 pages)
Examination Request:	Not requested

## CONTROL ROD FOR NUCLEAR REACTOR

[Genshiryokuro yo seigyobo]

Inventor:	Tadashi Ueda and Norio Yoshioka
Applicant:	Nippon Atomic Industry Group Co., Ltd. and Toshiba Corporation

[There are no amendments to this patent.]

Claims

/1\*

1. A type of control rod for a nuclear reactor characterized having a configuration in which a tip terminal structural part and a tail terminal structural part are combined with each other by a tie rod, with U-shaped sheaths being fixed on the aforementioned tie rod, tip terminal structural part, and tail terminal structural part to form a number of wings; and in this control rod for a nuclear reactor, with the aforementioned sheaths of wings being formed from a long-life type of neutron absorbent made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient; also, in the region on the insertion tail side adjacent to the insertion tip region of the aforementioned wing, with the total amount of the neutron absorbent decreasing gradually towards the insertion tail side in the longitudinal direction.

2. The control rod for a nuclear reactor described in Claim 1 characterized by the fact that on the inner side of the U-shaped sheath, a plate-shaped neutron absorbent made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient is fixed; and in the region on the insertion tail side adjacent to the insertion tip region of the wing, with the substantial thickness of the neutron absorbent in the direction of the thickness of the wing being reduced stepwise or continuously towards the insertion tail side.

3. The control rod for a nuclear reactor described in Claim 1, characterized by the fact that the insertion tip region of the

---

\* [Numbers in the margin indicate pagination in the foreign text.]

wing has a length of 5-32 cm from the insertion tip of the wing towards the insertion tail side.

4. The control rod for a nuclear reactor described in Claim 1 characterized by the fact that on the inner side of the U-shaped sheath, a neutron absorbent made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient is arranged; with the neutron absorbent being formed with a flat plate, corrugated, circular, elliptical, or rectangular cross section, and with the substantial thickness of the neutron absorbent in the direction of the thickness of the wing being reduced stepwise or continuously from the insertion tip side towards the insertion tail side, except for the insertion tip region.

5. The control rod for a nuclear reactor described in Claim 1 characterized by the fact that the neutron absorbent is a covering type of neutron absorbent consisting of a long-life type of neutron absorbent made of hafnium metal or an [alloy] /2 with hafnium as its principal ingredient and a covering material; and with the covering type of neutron absorbent being arranged inside the U-shaped sheath.

6. The control rod for a nuclear reactor described in Claim 1, characterized by the fact that the covering material of the covering type of neutron absorbent is made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient.

## Detailed explanation of the invention

### Objective of the invention

### Industrial application field

This invention pertains to a type of control rod for a nuclear reactor used for controlling the reaction output level of a boiling-water reactor or other light water reactor. In particular, this invention pertains to a type of control rod for a nuclear reactor with a higher reactivity value of the control rod, increased nuclear reactor shutdown tolerance, and longer service life.

### Prior art

In the conventional control rod for the boiling-water reactor, fine U-shaped sheaths are fixed on a central tie rod to form wings with a cross-shaped cross-sectional profile, with a number of neutron absorbing rods packed in each wing. The neutron absorbing rod may be prepared by packing boron carbide ( $B_4C$ ) powder as a neutron absorbent in a covering tube made of stainless steel.

As the control rod for a nuclear reactor is inserted into the core portion of the boiling-water reactor, etc., the neutron absorbent packed in the sheath is subjected to irradiation by neutrons and the neutron absorption is gradually lost. Consequently, after operation for a certain time and after the service life of the control rod for a nuclear reactor is reached, the control rod is regularly exchanged.

## Problems to be solved by the invention

For the control rod inserted/pulled in from the core portion of the nuclear reactor, the entire surface of each wing is not uniformly irradiated by neutrons. For example, the insertion tip region and the outer edge region of each wing are irradiated by a higher intensity of neutrons. Consequently, the neutron absorbent packed in these regions absorbs large dose of neutrons and is consumed faster than the other regions of the wing, so that the nuclear service life comes to an end faster. Consequently, although the neutron absorbent packed in the other regions of the wing still has a sufficient nuclear service life left, the control rod for a nuclear reactor has to be disposed of as radioactive waste. This is an economic waste. On the other hand, as the exchange frequency of the control rod for the nuclear reactor increases, the dose exposed on the operators rises. This is a disadvantage.

In order to solve this problem, the present inventors have developed a type of control rod for a nuclear reactor, having hafnium or other long-life type of neutron absorbent with a longer nuclear service life partially located in regions of the control rod under a higher intensity of neutron irradiation. As disclosed in Japanese Kokai Patent Application No. Sho 53[1978]-74697, this type of control rod for a nuclear reactor has a hybrid configuration, in which the long-life type of neutron absorbent is arranged in the tip portion and outer side terminal portion under higher neutron irradiation. The service life of this hybrid type of control rod for a nuclear reactor has a service life about twice that of the conventional type of control rod.



On the other hand, for the conventional control rod for a nuclear reactor, the neutron absorbent is packed with a uniform density over the entire region of the wing, with the neutron absorption, that is, the reactivity, equal in the various regions in the axial direction. However, since the neutron irradiation dose is nonuniform, a dispersion in the reactivity over time takes place and, at the end of the operation cycle of the nuclear reactor, the nuclear reactor shutdown tolerance might decrease partially.

That is, when the aforementioned control rod for a nuclear reactor is used and the nuclear reactor is set in operation for a certain period of time, the distribution of the nuclear reactor shutdown tolerance (noncritical degree) in the direction of the core axis has a certain difference depending on the design specifications of the fuel assembly or the operation method of the nuclear reactor. Basically, the distribution shown in Figure 4(A) takes place. That is, the nuclear reactor shutdown tolerance becomes larger on the upper terminal and lower terminal. On the other hand, the nuclear reactor shutdown tolerance reaches a minimum at a position a little lower from the upper terminal.

The reason is believed to be as follows.

Supposing that the effective length in the axial direction of the core of the nuclear reactor is  $L$ , in the upper terminal region from the position  $3/4L$  from the lower terminal to the upper terminal, the gas bubble rate (void rate) in the operation becomes higher, and the reactor's output density becomes relatively lower. Consequently, the residual amount of uranium with a mass number of 235 (U-235) as the fission substance is relatively large. Also, due to the gas bubbles (voids), a clearing [transliteration] phenomenon of the neutron spectrum

takes place. As a result, the plutonium formation reaction (neutron absorption reaction) is promoted. Consequently, after operation of the nuclear reactor, the concentration of the fission substance in the upper portion of the core becomes higher, which becomes a reason for the decrease in the nuclear reactor shutdown tolerance.

On the other hand, for nuclear reactors in the future, in order to meet the demand for improvement of the economy of /3 the operation, it will be necessary to increase the combustion degree of the nuclear fuel and to prolong the operation cycle. As a specific measure, there is a high demand for the development of a control rod for a nuclear reactor that makes use of nuclear fuel with a high enrichment degree, and thus a longer service life and larger nuclear reactor shutdown tolerance.

However, when the conventional control rod for a nuclear reactor is adopted in a nuclear reactor loaded with a nuclear fuel having a high enrichment degree, the nuclear reactor shutdown tolerance is relatively low and, for each short operation cycle, the control rod for the nuclear reactor frequently has to be exchanged.

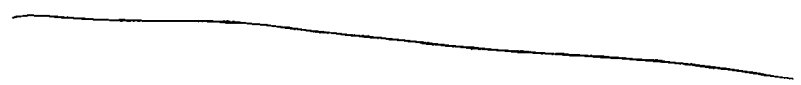
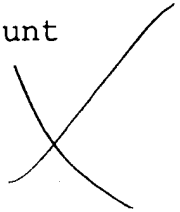
In the operation for exchange of the control rod for a nuclear reactor, the nuclear reactor has to be shut down, and the fuel assemblies set in the periphery of the control rod to be exchanged have to be removed beforehand. The operation is tedious. Consequently, the nuclear reactor frequently has to be shut down to exchange the control rod. Since the pause period becomes longer, the operational efficiency and economy of the nuclear reactor deteriorate significantly. On the other hand, the man-hours needed for the control operation become much larger.

The purpose of this invention is to solve the problems of the aforementioned conventional scheme by providing a type of control rod for a nuclear reactor with a high reactivity and a long service life, which is for prolonging the nuclear service life by using a long-life type of neutron absorbent on the U-shaped sheaths and for increasing the reactivity value of the control rod and enlarging the nuclear reactor shutdown tolerance by arranging a larger amount of the neutron absorbent in the portions with a higher reactivity effect.

Constitution of the invention

Means for solving the problems

In order to realize the aforementioned objective, the control rod for a nuclear reactor of this invention has a constitution characterized by the following facts: a tip terminal structural part and a tail terminal structural part are combined with each other by a tie rod, and U-shaped sheaths are fixed on the aforementioned tie rod, tip terminal structural part, and tail terminal structural part to form wings; in this control rod for a nuclear reactor, the aforementioned sheaths of wings are formed from a long-life type of neutron absorbent made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient; also, in the region on the insertion tail side adjacent to the insertion tip region of the aforementioned wing, the total amount of the neutron absorbent gradually decreases towards the insertion tail side in the longitudinal direction.



## Functions

For this type of control rod for a nuclear reactor, since the U-shaped sheaths forming the wings are formed from a long-life type of neutron absorbent made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient, the nuclear service life is longer, and a longer service life [of the control rod for a nuclear reactor] can be realized. On the other hand, since the long-life type of neutron absorbent is used as a sheath, and water as a decelerating material is fed into the sheath, water can decelerate the neutrons to those at an energy level that facilitate absorption, and the neutron absorption effect, that is, the reactivity effect of the control rod, rises.

In addition, since the neutron absorbent is actively and effectively arranged so that the noncritical degree becomes lower in the axial direction in the core of the nuclear reactor when the control rod for the nuclear reactor is fully inserted, an even higher reactivity value and even larger nuclear reactor shutdown tolerance can be realized.

## Application example

In the following, this invention will be explained in more detail with reference to an application example of the control rod for a nuclear reactor of this invention.

The control rod for a nuclear reactor that controls the output of a boiling-water reactor or other light water reactor has a configuration shown in Figures 1-3. In this configuration of control rod (10) for a nuclear reactor, tip terminal structural part (11) and tail terminal structural part (12) are

combined with each other by a central die rod (13) made of stainless steel having a cross-shaped cross-sectional profile. On each bump portion of said tie rod (13), a sheath (15) with a deep U-shaped cross-sectional profile is fixed, forming wings (16). Sheaths (15) are formed from a long-life type of neutron absorbent made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient. The insertion tip side and insertion tail side of wing (16) with sheath (15), are fixed on tip terminal structural part (11) and tail terminal structural part (12), respectively. On tip terminal structural part (11), an operation handle (18) is arranged. Also, a guide roller (19) is arranged for guiding control rod (10) to enter/leave the core of the nuclear reactor.

On the other hand, wing (16) is divided into an insertion tip region on the insertion tip side and a region adjacent to this insertion tip region and extending towards the insertion tail side. The insertion tip region of wing (16) has a length of 5-32 cm, usually 15-16 cm, extending from the insertion tip towards the insertion tail side. This insertion tip region has little relation to the nuclear reactor shutdown tolerance, and thus is not required to have a high reactivity. However, /4 it is intensely irradiated by neutrons from the core. Consequently, in this portion, long-life type neutron absorbent plate (20) made of a hafnium plate that is solid or substantially solid over the entire thickness is formed in the thickness direction of wing (16). This long-life-type neutron absorbent plate (20) is fixed as protrusion portion (20a) extending in the width direction of the wing is engaged with groove (21) of tip terminal structural part (11).

Also, in the region on the insertion tail side and adjacent to the insertion tip region of wing (16), as the outer edge portion of wing (16) is intensely irradiated by neutrons, on this portion, as shown in Figure 2, hafnium material (22) made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient is formed. This hafnium material (13) forms the outer edge portion of wing (16) and forms the outer terminal portion of sheath (15).

On the other hand, since sheath (15) and central tie rod (13) are made of different types of metals, direct welding is impossible. Consequently, as shown in Figure 1, four L-shaped cross-sectional hafnium sheets (15a), (15b), (15c) and (15d) made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient are set opposite to each other with their corners corresponding to the corners of cross-shaped cross-sectional central tie rod (13), respectively. Hafnium material (22) is inserted and fixed by welding on the facing tip terminal portions of said hafnium sheets (15a)-(15d). With hafnium material (22) being fixed, sheath (15) with a deep U-shaped cross-sectional profile is formed for wing (16).

On the side of central tie rod (13) of sheath (15), a hafnium rod (24) having a rectangular cross-sectional profile is set in the length direction of wing (16), and is fixed to the sheath (15) by welding, etc. This hafnium rod (24) can guarantee the gap on the inner side in the width direction of the wing of sheath (15), and can guarantee the mechanical strength. Flow channel (25) guiding water as the decelerating material is formed between sheaths (15) of wings (16).

As shown in Figure 1, in the intermediate portion in the longitudinal direction of the wing of control rod (10) for a

nuclear reactor, reinforcing rod (26) made of stainless steel extending in the width direction of the wing in sheath (15) is set between upper and lower hafnium rods (27a) and (27b). Said reinforcing rod (26) is welded and fixed on the protruding portion of central tie rod (13), and it can suppress deformation of the central portion of wing (16). In the upper and lower terminal portions and the intermediate portion of wing (16), openings (28) and holes (not shown in the figure) for the passage of water are formed.

In addition, just as with the insertion tip region, for the insertion tail region of wing (16), hafnium plate (30) is inserted and fixed in groove (31) extending in the width direction of the wing of tail terminal structural part (12).

As shown in Figure 3, in the region adjacent to the insertion tip region of wing (16), a hafnium plate (33) made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient is lined on the two inner sides of sheath (15). This hafnium plate (33) extends from the insertion tip region of wing (16) towards the insertion tail side, and it terminates midway.

As hafnium plate (33) is lined on the inner side of sheath (15), for wing (16), in the region on the insertion tail side adjacent to the insertion tip region, the amount of the long-life type of neutron absorbent can be reduced stepwise (or continuously), so that more neutron absorbent is arranged in the portion that is prone to have a lower noncrystal degree than that arranged in the portion with a higher reactivity. Consequently, it is possible to raise the reactivity value of the control rod for a nuclear reactor, to increase the nuclear reactor shutdown tolerance, and to prolong the service life, at the same time.

In the following, an example of the manufacturing procedure of the control rod for a nuclear reactor will be explained.

While hafnium plates (33) are lined at the prescribed sites of L-shaped hafnium sheets (15a)-(15d), the corners of the 4 hafnium sheets (15a)-(15d) are set in contact with each other. In the gaps formed by various hafnium sheets (15a)-(15d), rectangular hafnium rod (24) is set and fixed in the longitudinal direction of the wing. At the same time, hafnium rods (27a), (27b) are inserted as an upper/lower pair in the width direction of wing (16) and are fixed, with reinforcing rod (26) being inserted between said hafnium rods (27a) and (27b). On the outer edge portions of 4 hafnium sheets (15a)-(15d), hafnium part (22) is inserted in the longitudinal direction of the wing, and is fixed to form a cross-shaped cross-sectional profile. In this way, sheath (15) with a deep U-shaped profile is formed /5 from the long-life type of neutron absorbent.

On the other hand, central tie rod (13) is bonded on terminal structural part (12) by welding or some other means, with hafnium plates (30) being inserted in grooves (31) of said terminal structural part (12). On the other hand, central tie rod (13) is inserted through hafnium sheets (15[a])-(15d) assembled to form a cross-shaped cross-sectional profile and the lower terminal portions of hafnium sheets (15a)-(15d) on hafnium plate (30).

Hafnium plate (20) is then fastened on the upper terminal portions of hafnium sheets (15a)-(15d). Each hafnium plate (20) is guided into groove (21) of tip terminal structural part (11), at the same time, tip terminal structural part (11) is fastened by welding on central tie rod (13).



Finally, one or several reinforcing rods (26) set in the intermediate portion in the length direction of wing (16) are welded and fixed on the protruding portions of central tie rod (13) to enhance the mechanical strength of wing (16) so as to prevent deformation of the intermediate portion of the wing. In this way, control rod (10) for a nuclear reactor is assembled.

For said control rod (10) for a nuclear reactor, as U-shaped sheaths (15) that form wings (16) are formed from a long-life type of neutron absorbent, the nuclear service life becomes longer, and it is possible to prolong the service life of control rod (10). Also, for said control rod (10), flow channel (25) for guiding water as a decelerating material is formed inside the region on the insertion tail side adjacent to the insertion tip region of wing (16). Consequently, the neutrons are decelerated by water guided through said flow channel (25) to become neutrons at an energy level that promotes absorption. As a result, the neutron absorption, and hence the reactivity effect of the control rod, rises.

Also, since hafnium plate (33) is lined on the inner side of sheath (15) in the region on the insertion tail side adjacent to the insertion tip region of wing (16), the neutron absorbent is actively arranged in the portion where the noncritical degree in the direction of the core becomes lower when control rod (10) for a nuclear reactor is fully inserted. Consequently, as shown in Figure 4(B), the reactivity value (neutron absorption characteristics) becomes significantly higher. As shown in Figure 4(C), the nuclear reactor shutdown tolerance becomes larger than that of the conventional control rod.

In the following, other application examples of the control rod for a nuclear reactor of this invention will be presented.

Figure 5 is a diagram illustrating Application Example 2 of the control rod for a nuclear reactor of this invention. For control rod (10A) for a nuclear reactor in this application example, hafnium plate (35) with a multistep configuration is lined in sheath (15) in the region on the insertion tail side adjacent to the insertion tip region of wing (16). This hafnium plate (35) is formed from a long-life type of neutron absorbent made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient. It has a configuration with the thickness decreased stepwise from the side of the insertion tip to the side of the insertion tail of wing (16). Said hafnium plate (35) is fixed through spacer (36) on the inner side of sheath (15). The other features of the configuration are substantially identical to those of control rod (10) for a nuclear reactor shown in Figures 1-3. Consequently, they are not to be repeated here.

Figures 6 and 7 illustrate Application Example 3 of the control rod for a nuclear reactor. For control rod (10A) in this application example, a hafnium plate (38) with a multistep configuration, such as a 2-step configuration, is set in the central portion of sheath (15) of the region on the side of the insertion tail adjacent to the insertion tip region of wing (16). Said hafnium plate (38) has a gap from sheath (15) maintained by washer-shaped spacer (39): it is maintained by fixing pins or other fixing parts (40).

Also, as shown in Figure 8, for control rod (10C) for a nuclear reactor, a corrugated hafnium plate (43) is set in sheath (15). Said sheath (15) is fixed by spacer (44). In addition, as shown in Figure 9, it is also possible to set short hafnium pipes (45) made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient in sheath (15) of wing (16) in the width

direction of the wing in a column configuration. In this case, while water used as a decelerating material is guided in hafnium pipes (45), hafnium pipes (45) are fixed on sheath (15) by supporting parts on the upper and lower sides (not shown in the figure). Said hafnium pipes (45) are inserted into the side of the insertion tip of wing (16) over a length of  $1/3$ - $1/4$  of the effective length of control rod (10D) for a nuclear reactor (the length of the wing in the length direction). It is also possible to form hafnium pipes (45) having a cross-sectional profile of elliptical shape or elongated circular shape. /6

Anyway, the same functions and effects as those of control rod (10) for a nuclear reactor shown in Figures 1-3 can be realized in this case.

Also, for control rod (10E) for a nuclear reactor, in a configuration illustrated in Figures 10-11, in the region on the side of the insertion tail adjacent to the insertion tip region of (16), neutron absorbing rod (47) is set in sheath (15) and the lower portion is supported by support part (48). Support part (48) is formed from a neutron absorbent made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient. A gap from sheath (15) is maintained, and the mechanical strength of wing (16) is increased.

On the other hand, neutron absorbing rod (47) is prepared by packing boron carbide formed by enriching the natural boron ( $B_4C$ ) and boron-10,  $Eu_2O_3$ - $HfO_2$ , or some other neutron absorbing substance (50) in covering tube (49) made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient. When neutron absorbing substance (50) is boron carbide, He gas is generated due to the neutron reaction. Consequently, it is necessary to pack metal wool, etc., to form gas plenum (51).

In addition, as shown in Figure 12, covering tube (53) of neutron absorbing rod (52) has a rectangular cross-sectional profile, so that the amount of neutron absorbing substance (50) packed inside it can be increased.

For the control rod for a nuclear reactor shown in Figures 10-12, the same functions and effects as those of the control rod for a nuclear reactor shown in Figures 1-3 can be realized.

As an application example of this invention, L-shaped hafnium sheets have their corners engaged on the concave corners of the central tie rod, respectively, and the hafnium parts are inserted and fastened on the tip edges of the facing hafnium sheets to form U-shaped sheaths. However, there is no special limitation on the shape of the feed materials before formation of the sheath, as long as the sheaths can be finally formed in a U-shaped configuration from a long-life type of neutron absorbent made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient.

Also, as an application example of this invention, in the region on the side of the insertion tail adjacent to the insertion tip region of the wing, hafnium plates or neutron absorbing rods are set on the inner side of the sheaths, and the total amount of the neutron absorbent is reduced stepwise or gradually from the insertion tip region towards the side of the insertion tail of the wing. However, it is also possible to form the hafnium plate with its thickness changing continuously and to set the hafnium plate inside the sheath, so as to continuously change the total amount of the neutron absorbent from the insertion tip region towards the side of the insertion tail of the wing.

## Effects of the invention

As explained in the above, for the control rod for a nuclear reactor of this invention, the sheath of the wing is formed from a long-life type of neutron absorbent made of hafnium metal or an alloy with hafnium as its principal ingredient. Consequently, the nuclear service life of the control rod is prolonged, and a longer service life [of the control rod] can be realized.

Also, since a long-life type of neutron absorbent is used as the sheath, water as a decelerating material is fed into the sheath. Due to the fed water, the higher-velocity neutrons are decelerated to neutrons at an energy level that facilitates absorption. Consequently, the neutron absorbing effect, that is, the reactivity effect of the control rod, can be increased. On the other hand, since the neutron absorbent is actively arranged in the portions where the reactivity effect is high, an even higher reactivity value can be obtained, the nuclear reactor shutdown tolerance of the nuclear reactor can be increased, and the reactivity becomes higher for the long-life type of control rod for a nuclear reactor.

## Brief description of the figures

Figure 1 is a diagram illustrating an application example of the control rod for a nuclear reactor in this invention. Figure 2 is a plane cross-sectional view cut along line II-II in Figure 1. Figure 3 is a longitudinal cross-sectional view cut along line III-III in Figure 1. Figure 4(A) is a graph illustrating the distribution of the nuclear reactor shutdown tolerance in the axial direction when the nuclear reactor is made to operate for a

certain period using a conventional control rod for a nuclear reactor. Figure 4(B) is a graph illustrating the axial distribution of the neutron absorbing characteristics in the control rod for a nuclear reactor in this invention. Figure 4(C) is a graph illustrating the axial distribution of the nuclear reactor shutdown tolerance when the nuclear reactor with the control rod for a nuclear reactor of this invention is in operation for a certain period, as compared with that of the conventional control rod for a nuclear reactor. Figure 5 is a diagram illustrating the control rod for nuclear reactor in Application Example 2 of this invention. Figure 6 is a diagram illustrating the control rod for nuclear reactor in Application Example 3 of this invention. Figure 7 is an enlarged view of a portion of Figure 6. Figures 8 and 9 are diagrams /7 illustrating modified examples of the control rod for a nuclear reactor shown in Figure 7. Figure 10 is a longitudinal cross-sectional view illustrating another application example of the control rod for a nuclear reactor of this invention. Figure 11 is an enlarged view of a portion of the control rod for a nuclear reactor shown in Figure 10. Figure 12 is a diagram illustrating a modification example of the control rod for a nuclear reactor shown in Figure 11.

10, 10A-10E Control rods for a nuclear reactor

11 Tip terminal structural part

12 Tail terminal structural part

13 Central tie rod

15 Sheath

15a-15d Hafnium sheets

16 Wing

20, 30      Hafnium plates  
22      Hafnium part  
24      Hafnium rod  
25      Flow channel  
26      Reinforcing rod  
27a, 27b   Hafnium rods  
33, 35, 38      Hafnium plates  
36      Spacer  
39      Washer-shaped spacer  
40      Fixing part  
43      Hafnium plate  
45      Hafnium pipe  
47      Neutron absorbing rod  
49      Covering tube  
50      Neutron absorbing substance

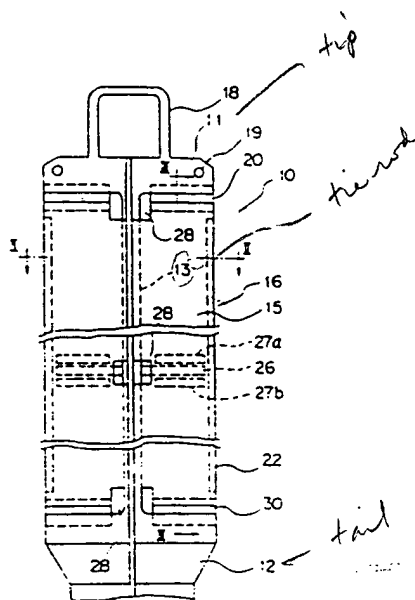


Figure 1

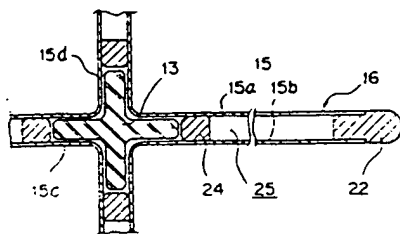


Figure 2



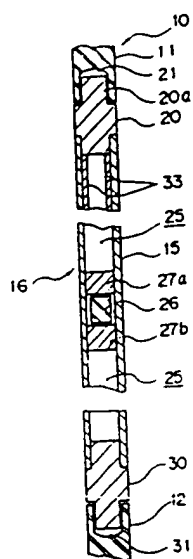


Figure 3

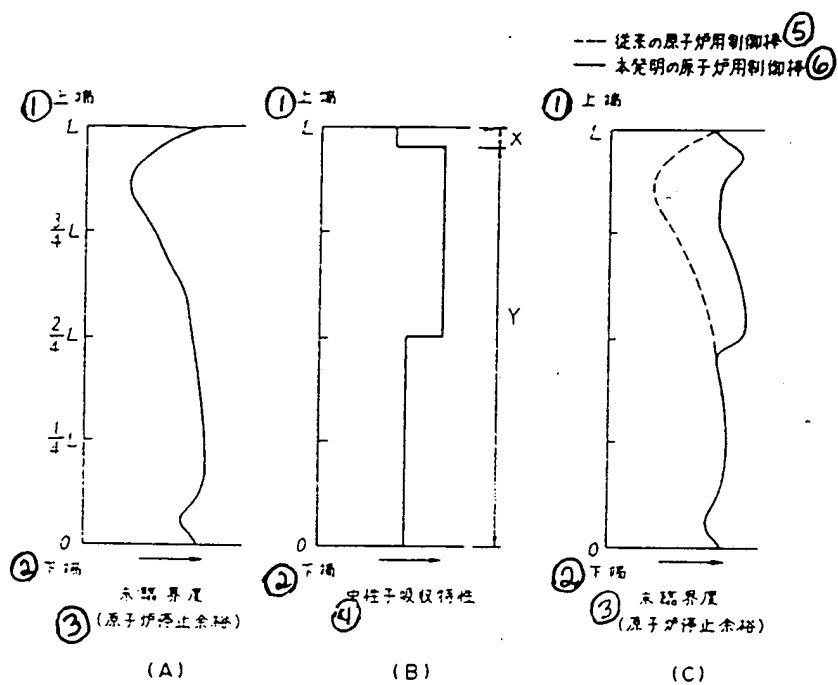


Figure 4.

- Key: 1 Upper terminal  
 2 Lower terminal  
 3 Noncritical degree (nuclear reactor shutdown tolerance)  
 4 Neutron absorbing characteristics  
 5 Conventional control rod for a nuclear reactor  
 6 Control rod for a nuclear reactor of this invention

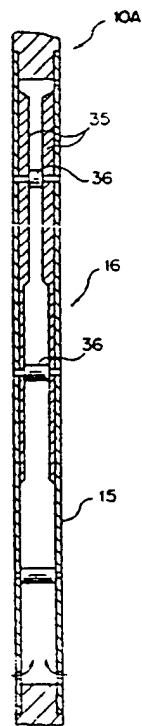


Figure 5

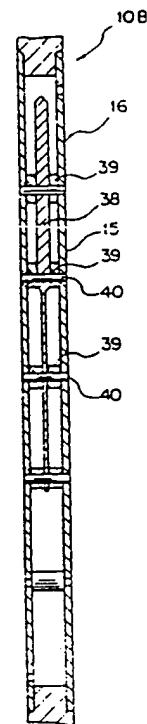


Figure 6

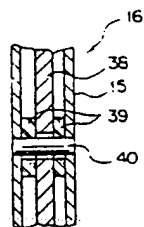


Figure 7

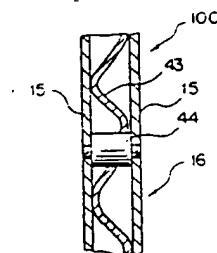


Figure 8

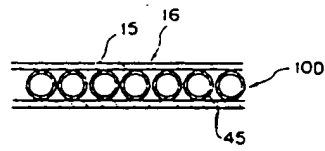


Figure 9

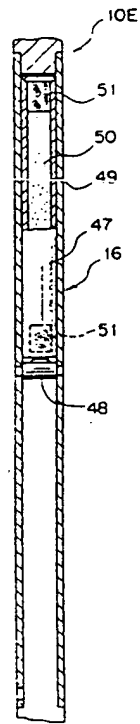


Figure 10

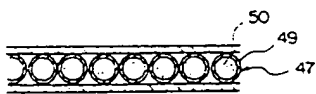


Figure 11

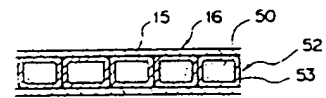


Figure 12